

Efektivitas kombinasi *Pistia stratiotes* L. dan *Salvinia molesta* Mitchell dalam fitoremediasi air asam tambang batubara

Effectiveness of the combination of *Pistia stratiotes* L. and *Salvinia molesta* Mitchell in phytoremediation of coal acid mine drainage

Deviana Putri¹, Juswardi^{2*}

¹ Program Studi Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya Jalan Palembang-Prabumulih, Km 32 Indralaya Ogan Ilir 30662; Telp. 0711-580067/Faks.0711-580067

² Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya Jalan Palembang-Prabumulih, Km 32 Indralaya Ogan Ilir 30662; Telp. 0711-580067/Faks.0711-580067

*Penulis korespondensi

E-mail: juswardi@yahoo.co.id (Juswardi)

Telaah Sejawat di bawah tanggung jawab Jurusan Biologi FMIPA Universitas Sriwijaya

Abstract (English):

Open pit mining is a mining system that is commonly applied to coal extraction activities. Environmental problems in coal mining activities are generally related to acid mine drainage (AMD). Efforts to overcome the impact of AMD can be done by phytoremediation in constructed wetlands (CW). Plants that have the potential for AMD phytoremediation include *Pistia stratiotes* L. (water lettuce) and *Salvinia molesta* Mitchell (giant *Salvinia*), so it is necessary to conduct research on the effectiveness of the combination of *P. stratiotes* and *S. molesta* to be developed on CW vegetation. The experimental design used was a completely randomized design (CRD), with 3 treatments using *P. Stratiotes*, *S. Molesta*, Combination of *P. stratiotes* and *S. molesta* each 9 replications. The results showed the effectiveness of phytoremediation using plant vegetation of *P. stratiotes* and *S. molesta* in increasing pH by 40.04% and reducing sulfate levels by 41.72%. The effectiveness of the combination of *P. stratiotes* and *S. molesta* in reducing levels of Mn and Fe were 101.36% and 93.49%, respectively. The decrease in TSS levels is better done by the combination of *P. stratiotes* and *S. Molesta* vegetation compared to *P. stratiotes* or *S. Molesta* vegetation alone, but the better growth rate occurred in *S. molesta* vegetation only.

Keywords: acid mine drainage, constructed wetlands, phytoremediation, *Pistia stratiotes* L, *Salvinia molesta* Mitchell

Abstrak (Indonesia):

Penambangan terbuka merupakan sistem penambangan yang umum diaplikasikan pada kegiatan pengambilan batubara. Permasalahan lingkungan dalam aktivitas pertambangan batubara umumnya terkait dengan air asam tambang (AAT). Upaya untuk mengatasi dampak dari AAT dapat dilakukan dengan fitoremediasi pada lahan basah buatan atau constructed wetland (CW). Tumbuhan yang berpotensi untuk fitoremediasi AAT diantaranya *Pistia stratiotes* L. (*ki apu*) dan *Salvinia molesta* Mitchell (*kiambang*), sehingga perlu dilakukan penelitian tentang efektivitas kombinasi *P. stratiotes* dan *S. molesta* untuk dikembangkan pada vegetasi lahan basah buatan. Rancangan percobaan yang digunakan adalah rancangan acak lengkap (RAL), dengan 3 perlakuan menggunakan *P. Stratiotes*, *S. Molesta*, kombinasi *P. stratiotes* dan *S. molesta* masing-masing 9 pengulangan. Hasil penelitian menunjukkan efektivitas fitoremediasi menggunakan vegetasi tumbuhan *P. stratiotes* dan *S. molesta* dalam menaikkan pH sebesar 40,04% dan menurunkan kadar sulfat sebesar 41,72%. Efektivitas kombinasi *P. stratiotes* dan *S. molesta* dalam menurunkan kadar Mn dan Fe masing-masing sebesar 101,36% dan 93,49%. Penurunan kadar TSS yang lebih baik dilakukan oleh vegetasi tumbuhan kombinasi *P. stratiotes* dan *S. molesta* dibandingkan vegetasi *P. stratiotes* atau *S. molesta* saja, namun laju pertumbuhan yang lebih baik terjadi pada vegetasi *S. molesta* saja.

Kata kunci: air asam tambang, fitoremediasi, lahan basah buatan, *Pistia stratiotes* L, *Salvinia molesta* Mitchell

Diterima: 17 Juli 2023, Disetujui: 16 Agustus 2023

1. Pendahuluan

Pada umumnya kegiatan penambangan merupakan kegiatan dengan daya ubah lingkungan yang besar, berupa perubahan morfologi dan topografi lahan (Said, 2014). Pertambangan batubara dilakukan dengan sistem tambang terbuka dan tertutup. Menurut Widyati (2009), penambangan terbuka (opened pit mining) merupakan sistem penambangan yang umum diaplikasikan pada kegiatan pengambilan batubara di Indonesia.

Permasalahan lingkungan dalam aktivitas pertambangan batubara umumnya terkait dengan air asam tambang (AAT) atau *acid mine drainage* (AMD). Menurut Nasir *et al.* (2014), AAT merupakan air yang terbentuk di lokasi penambangan dengan nilai pH yang rendah yaitu $pH < 4$. Nilai pH yang rendah pada AAT menyebabkan mudahnya logam-logam tertentu larut dalam air.

Upaya dalam mengatasi limbah AAT batubara diantaranya dengan metode fitoremediasi. Menurut Rondonuwu (2014), fitoremediasi adalah penggunaan tumbuhan untuk menghilangkan polutan dari tanah atau perairan yang terkontaminasi. Fitoremediasi limbah cair umumnya menggunakan tumbuhan akuatik dalam lahan basah buatan sebagai pengolahan perairan dari pencemaran limbah. Menurut (Kusumastuti, 2009), dalam pengaplikasian teknik fitoremediasi ini, tumbuhan akuatik yang dipilih akan dipelihara dalam suatu lahan basah buatan. Menurut Suprihatin (2014), sistem lahan basan buatan meniru dari proses penjernihan air yang terjadi dilahan basah atau rawa (*wetlands*), dimana tumbuhan air (*hydrophyta*) yang tumbuh didaerah tersebut memegang peranan penting dalam proses pemulihan kualitas air limbah secara alamiah (*self purification*).

Sistem lahan basah buatan atau *constructed wetlands* (CW) cukup efektif untuk pengontrolan AAT. Menurut Henny *et al.* (2010), pada sistem CW terjadi proses-proses biologi, kimia dan fisika. Proses biologi terjadi pada interaksi antara tumbuhan penyusun vegetasi CW. Kusumastuti (2009), menyatakan kemampuan rawa buatan biasanya dihitung dalam suatu persentase kehilangan bahan pencemar dalam air limbah yang masuk dan keluar.

Tumbuhan air seperti Ki apu (*Pistia stratiotes*

L.) dan Kiambang (*Salvinia molesta* Mitchell) dapat digunakan sebagai agen fitoremediasi pada air limbah. Menurut Widyaningsih (2012), Ki apu memiliki kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Nurfitri dan Rachmatiah (2010), menambahkan bahwa tumbuhan ini mempunyai kemampuan menyerap berbagai logam berat seperti Fe, Zn, Cu, Cr dan Cd. Selanjutnya Pribadi *et al.* (2016), menyatakan bahwa Kiambang dapat digunakan sebagai fitoremediator limbah organik dan anorganik.

Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui efektivitas dari kombinasi *P. stratiotes* dan *S. molesta*, serta respons pertumbuhan dalam meningkatkan fitoremediasi AAT batubara.

2. Bahan dan Metode

Penelitian dilaksanakan di Rumah Percobaan, Jurusan Biologi, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Sriwijaya dan Laboratorium Balai Riset dan Standarisasi Industri (BARISTAND) Palembang, Sumatera Selatan. Pengambilan sampel air asam tambang dilakukan di Tambang Air Laya, PT. Bukit Asam, Tanjung Enim, Sumatera Selatan.

Alat dan Bahan.

Alat-alat yang digunakan pada penelitian ini adalah Bioreaktor (dxt: 49x24cm), pH meter, Spektrofotometer Serapan Atom (SSA). Sedangkan bahan yang dibutuhkan dalam penelitian ini yaitu air destilasi, larutan blanko, limbah cair AAT batubara, tumbuhan akuatik *Pistia stratiotes* dan *Salvinia molesta* pada fase vegetatif.

Rancangan Percobaan

Percobaan menggunakan rancangan acal lengkap (RAL) dengan 3 perlakuan dan 9 ulangan. Perlakuan yang dicobakan adalah vegetasi *P. stratiotes*, vegetasi *S. molesta*, kombinasi vegetasi *P. stratiotes* dan *S. molesta*

Cara Kerja

- **Pengambilan Sampel**, Sampel AAT diambil dari PT. Bukit Asam (BA) Tbk, Tanjung Enim, Sumatera Selatan dengan pH awal 2,69.
- **Persiapan dan Aklimatisasi *Pistia stratiotes* L. dan *Salvinia Molesta* Mitchell, *P. stratiotes* dan *S. molesta*** diambil dalam keadaan segar dari

perairan Tanjung Senai Indralaya, Sumatera Selatan. Selanjutnya *P. stratiotes* diaklimatisasi selama 7 hari dengan mengadaptasikan pada media yaitu air destilasi 95% ditambah 5% AAT.

- **Persiapan Media Tumbuh (Bioreaktor)**, Media tumbuh (bioreaktor) sebanyak 27 bioreaktor. AAT dimasukkan kedalam bioreaktor dengan jenis tumbuhan air sebagai perlakuan.
- **Penanaman dan Pemeliharaan Tanaman**, *P. stratiotes* dan *S. molesta* yang telah diaklimatisasi, dipilih yang memiliki kriteria daun berwarna hijau, organ tumbuh lengkap, sehat dan dalam fase vegetatif dengan berat segar masing-masing 100 gram untuk per satu bioreaktor dan 50 gram masing-masing untuk kombinasi *P. stratiotes* dan *S. molest.* Fitoremediasi dilakukan selama 14 hari.

Variabel Pengamatan

- pH Air Asam Tambang/ (AAT),

Pengukuran pH dilakukan pada awal penelitian dan pada akhir. Perubahan pH dapat dihitung dengan rumus:

$$\text{Perubahan pH} = \text{pH akhir} - \text{pH awal}$$

- Kadar Sulfat (SO_4^{2-})

Kadar sulfat (SO_4^{2-}) dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Uji kadar sulfat dilakukan secara turbidimetri berdasarkan SNI 6989.20 tahun 2009. Kadar asam sulfat (SO_4^{2-}) dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar } \text{SO}_4^{2-} (\text{mg/l}) = C \times fp$$

Keterangan :

C = Kadar dari hasil pengukuran (mg/l)

fp = Faktor Pengenceran

- Kadar Mangan (Mn)

Kadar Mn diamati pada awal dan akhir penelitian. Analisa dilakukan berdasarkan SNI 6989.5 tahun 2009 dengan metode spektrofotometri. Kadar mangan (Mn) dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar Mn (mg/l)} = C \times fp$$

Keterangan :

C = Kadar dari hasil pengukuran (mg/l)

fp = Faktor Pengenceran

- Kadar Besi (Fe)

Pengukuran kadar besi dilakukan pada awal dan akhir penelitian. Analisa dilakukan dengan mengacu pada SNI 6989.4 tahun 2009 tentang cara uji besi dengan menggunakan spektrofotometer serapan atom-nyala (SSA). Kadar konsentrasi Fe dapat dihitung dengan rumus :

$$\text{Kadar Fe (mg/l)} = C \times fp$$

Keterangan :

C = Kadar dari hasil pengukuran (mg/l)

fp = Faktor Pengenceran

- Total Suspended Solid (TSS)

Pengukuran TSS dilakukan sesuai dengan SNI 06.6989.3 tahun 2004. Sampel air dari tiap bioreaktor diambil sebanyak 50mL, lalu dihomogenkan dan dimasukkan ke dalam kuvet. Kalibrasi spektrofotometer dengan akuades atau larutan blanko, setelah itu dimasukkan kedalam botol kaca berisi sampel ke dalam alat spektrofotometer, tekan tombol read

- Efektivitas Fitoremediasi

Efektivitas fitoremediasi dengan variabel pH, SO_4 , Mn, Fe, dan TSS dapat dihitung dengan rumus:

$$E_f = \frac{\{(P_o - P_t) - (P_o - P_c)\}}{P_o} \times 100\%$$

Keterangan :

Ef = Efektivitas fitoremediasi

Po = Parameter awal

Pc = Parameter akhir tanpa agen fitoremediasi

Pt = Parameter akhir dengan agen fitoremediasi.

- Berat segar *P. stratiotes* dan *S. molesta*

Pengukuran berat segar dilakukan pada akhir penelitian. *P. stratiotes* dan *S. molesta* ditimbang beratnya pada akhir perlakuan sehingga dari selisih berat akhir dan berat awal didapat jumlah pertambahan berat segar tanaman.

- Laju Pertumbuhan Relatif

Laju pertumbuhan relatif diukur di awal dan di akhir perlakuan tumbuhan terhadap limbah AAT. Laju pertumbuhan relatif dihitung berdasarkan rumus:

$$LPR = \frac{\ln BS2 - \ln BS1}{t2 - t1}$$

Keterangan:

LPR : Laju pertumbuhan relatif

BS1 : Berat segar tanaman awal

BS2 : Berat segar tanaman akhir

t1 : Waktu pengamatan awal

t2 : Waktu pengamatan akhir

- Karakter Fisik *P. stratiotes* dan *S. molesta*

Pengamatan secara kualitatif dilakukan dengan mengamati perubahan karakter fisik pada *P. stratiotes* dan *S. molesta* selama masa pengamatan. Perubahan karakter fisik meliputi warna daun dan akar.

3. Hasil dan Pembahasan

Efektivitas Kenaikan pH

Tabel 1. Efektivitas fitoremediasi dalam menaikkan pH AAT dari *P. stratiotes* dan *S. molesta*.

Vegetasi Tumbuhan	pH Awal	pH Akhir	Kenaikan pH	[Efektivitas pH] (%)
<i>P. stratiotes</i>	2,95	4,12	1,17	39,17 ^a
<i>S. molesta</i>	2,95	3,94	0,99	32,51 ^b
<i>P. stratiotes</i> dan <i>S. molesta</i>	2,95	4,14	1,19	40,04 ^a

Kenaikan pH AAT oleh *P. stratiotes* lebih tinggi jika dibandingkan dengan *S. molesta* karena *P. stratiotes* memiliki akar yang banyak dan kemampuan untuk mengolah limbah, baik itu berupa logam berat, zat organik maupun anorganik. Kenaikan pH AAT tidak hanya disebabkan oleh kemampuan *P. stratiotes* dalam menyerap logam tetapi juga dikarenakan mikroba yang menguraikan jaringan *P. stratiotes* yang telah mati lalu masuk ke dalam media AAT sehingga dalam proses penguraian bahan organik akan meningkatkan nilai pH. Menurut Ni'ma *et al.* (2014), banyaknya akar *P. stratiotes* dan mikroba perombak yang berasosiasi dipermukaan akarnya membuat *P. stratiotes* mampu menyerap bahan organik dalam air limbah.

Kadar Sulfat (SO₄²⁻)

Tabel 2. Efektivitas fitoremediasi penurunan kadar sulfat (SO₄²⁻) dari *P. stratiotes* dan *S. molesta*.

Vegetasi Tumbuhan	Kadar Sulfat (mg/L)		Penurunan sulfat	Efektivitas fitoremediasi Sulfat (%)
	Awal	Akhir		
<i>P. stratiotes</i>	1141,11	820,14	320,97	26,01 ^a
<i>S. molesta</i>	1141,11	729,51	411,60	33,44 ^b
<i>P. stratiotes</i> dan <i>S. molesta</i>	1141,11	593,70	547,41	41,72 ^c

S. molesta lebih efektif menurunkan sulfat dibandingkan dengan *P. stratiotes*. Hal ini diduga karena *S. molesta* menyerap sulfat dalam jumlah yang besar untuk dimanfaatkan sebagai nutrisi tambahan bagi pertumbuhan. Fu *et al.* (2018) menambahkan bahwa belerang atau sulfur adalah makronutrien penting untuk pertumbuhan dan perkembangan pada tanaman berpartisipasi dalam

sintesis sistein, metionin dan dalam banyak konstituen seluler esensial lainnya, seperti pengurangan glutathione (GSH) dan koenzim A.

Kadar Mangan (Mn)

Tabel 3. Efektivitas fitoremediasi penurunan kadar Mn dari *P. stratiotes* dan *S. molesta*.

Vegetasi Tumbuhan	Kadar Mn (mg/L)		Penurunan Mn	Efektivitas fitoremediasi Mn (%)
	Awal	Akhir		
<i>P. stratiotes</i>	4,69	0,41	4,28	91,43 ^a
<i>S. molesta</i>	4,69	0,00	4,69	100,00 ^b
<i>P. stratiotes</i> dan <i>S. molesta</i>	4,69	0,00	4,69	100,00 ^b

Kadar Mn mampu diserap oleh *S. molesta* dalam jumlah yang besar. Hal ini dikarenakan *S. molesta* mampu beradaptasi dengan logam Mn yang tinggi pada AAT. Mangan termasuk unsur hara yang penting bagi tumbuhan, sehingga dapat dimanfaatkan oleh *S. molesta* sebagai nutrisi pertumbuhan. Mangan (Mn) berperan penting di dalam proses fisiologi sebagai aktivator beberapa enzim seperti dehidrogenase, transferase, hidrosilase, dan dekarboksilase yang terlibat dalam proses respirasi, asam amino, dan sintesis lignin

Kadar Total (Fe)

Tabel 4. Efektivitas fitoremedias penurunan kadar Fe menggunakan *P. stratiotes* dan *S. molesta*.

Vegetasi Tumbuhan	Kadar Fe (mg/L)		Penurunan Fe	Efektivitas fitoremediasi Fe (%)
	Awal	Akhir		
<i>P. stratiotes</i>	1,51	1,06	0,45	28,60 ^a
<i>S. molesta</i>	1,51	0,15	1,36	88,02 ^b
<i>P. stratiotes</i> dan <i>S. molesta</i>	1,51	0,07	1,44	93,49 ^b

Perlakuan kombinasi terbukti merupakan perlakuan yang lebih baik dari ketiga perlakuan yang ada. *P. stratiotes* dan *S. molesta* menyerap logam Fe diduga karena sifat akumulatornya dan juga masih banyaknya ion Fe yang tersedia di media tetapi tidak terjadi kompetisi untuk menyerap Fe. Proses ini menunjukkan bahwa telah terjadi proses transportasi dan akumulasi logam Fe bersama-sama dengan Semakin panjang akar dan semakin banyak jumlah tanaman maka nilai TSS yang diturunkan

akan semakin besar. proses transport nutrisi lainnya.

Total Suspended Solid (TSS) Kadar Total (Fe)

Tabel 5. Efektivitas fitoremediasi penurunan kadar TSS menggunakan *P. stratiotes* dan *S. molesta*.

Vegetasi Tumbuhan	Kadar Fe (mg/L)		Penurunan Fe	Efektivitas fitoremediasi Fe (%)
	Awal	Akhir		
<i>P. stratiotes</i>	1,51	1,06	0,45	28,60 ^a
<i>S. molesta</i>	1,51	0,15	1,36	88,02 ^b
<i>P. stratiotes</i> dan <i>S. molesta</i>	1,51	0,07	1,44	93,49 ^b

Penurunan kadar TSS terbesar pada vegetasi tumbuhan kombinasi mungkin dipengaruhi oleh perbedaan panjang akar *P. stratiotes* dan *S. molesta*. Semakin panjang akar dan semakin banyak individu tanaman maka nilai TSS yang diturunkan akan semakin besar.

Berat Segar dan Laju Pertumbuhan Relatif

Tabel 6. Rata-rata berat segar dan pertumbuhan relatif *P. stratiotes* dan *S. molesta*.

Vegetasi Tumbuhan	Berat Segar (g)		Laju Pertumbuhan Relatif (g/hari)
	Awal	Akhir	
<i>P. stratiotes</i>	100	55	0,0396 ^a
<i>S. molesta</i>	100	110	0,0085 ^c
<i>P. stratiotes</i> dan <i>S. molesta</i>	100	65	-0,023 ^b

Penurunan kadar TSS terbesar pada vegetasi tumbuhan kombinasi mungkin dipengaruhi oleh perbedaan panjang akar *P. stratiotes* dan *S. molesta*. Semakin panjang akar dan semakin banyak jumlah tanaman maka nilai TSS yang diturunkan akan semakin besar. paling sering mengalami kerontokan pada akar dalam jumlah yang besar dan terkena penyakit. Daun menjadi busuk dan mati sehingga mengurangi berat biomassa.

Perubahan Karakter Fisik Tanaman

Daun *P. stratiotes* terlihat mengalami kerusakan yang cukup parah sebelum akhir penelitian yaitu daun menguning dan membusuk dengan persentase kerusakan sebesar 90% (Gambar 1.) Menurut Kamala *et al.* (2016), logam yang

sudah masuk kedalam tubuh tanaman akan diekskresikan dengan cara menggugurkan daun yang sudah tua sehingga nantinya dapat mengurangi kadar logam.

4. Kesimpulan

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan dapat disimpulkan, Kombinasi vegetasi tanaman *P. stratiotes* dan *S. molesta* lebih efektif dalam menaikkan pH, menurunkan kadar Fe, Mn, sulfat (SO₄²⁻) dan TSS. *P. stratiotes* mengalami cekaman dan kemudian mati tetapi *S. molesta* masih mampu hidup dengan LPR 0,0085 g/hari dengan warna daun yang kehijauan dan terdapat sedikit nekrosis dan klorosis.

Referensi

- Fu, Y., Tang, J., Yao, G.F., Huang, Z.Q., Li, Y.H., Han, Z., Chen, X.Y. and Zang, H. (2018). Central role of adenosine 5'-phosphosulfate reductase in the control of plant hydrogen sulfide metabolism. *Journal Front Plant Science* 9(1): 1-7. <https://doi.org/10.3389/fpls.2018.01404>
- Henny, C., Ajie, S. A., dan Susanti, E. (2010). Pengolahan air asam tambang menggunakan sistem "Passive Treatment". *Prosiding Seminar Nasional Limnologi*. 5(1): 331-344.
- Kamala, N., Rahayu, S., dan Ismanto, I. (2018). Efektivitas kombinasi Kiambang (*Salvinia Adnata* Desv.) dan Kayu Apu (*Pistia Stratiotes* L.) dalam fitoremediasi logam Kadmium (Cd) di perairan. *Jurnal Online Mahasiswa (JOM) Bidang Biologi*. 3(3): 1-10.
- Kusumastuti, W. (2009). Evaluasi lahan basah bervegetasi mangrove dalam mengurangi pencemaran lingkungan (studi kasus di Desa Kepetingan Kabupaten Sidoarjo). [Thesis]. Program Magister Ilmu Lingkungan Universitas Diponegoro: Semarang <http://eprints.undip.ac.id/17692/>
- Nasir, S., Purba, M., dan Sihombing, O. (2014). Pengolahan air asam tambang dengan menggunakan membran keramik berbahan tanah liat, tepung Jagung dan serbuk besi. *Jurnal Teknik Kimia*. 3(20): 22-30. <https://adoc.pub/pengolahan-air-asam->

[tambang-dengan-menggunakan-membran-keram.html](#)

Ni'ma, N., Widyorini, N., dan Ruswahyuni. (2014). Kemampuan Apu-Apu (*Pistia sp.*) sebagai bioremediator limbah pabrik pengolahan hasil perikanan (skala laboratorium). *Journal Management of Aquatic Resources*. 3(4): 257-264. <https://doi.org/10.14710/marj.v3i4.7107>

Nurfitri, A., dan Rachmatiah, I.S. (2010). Pengaruh kerapatan tanaman Kiapu (*Pistia Stratiotes* L) terhadap serapan logam Cu pada air. *Jurnal Teknik Lingkungan ITB*. 16(1): 42-51. <https://doi.org/10.5614/jtl.2010.16.1.5>

Pribadi, R.N., Zaman, B., dan Purwono. (2016). Pengaruh luas penutupan Kiambang (*Salvinia molesta*) terhadap penurunan COD, Amonia, Nitrit, dan Nitrat pada limbah cair domestik (*Grey Water*) dengan sistem kontinyu. *Jurnal teknik Lingkungan*. 5(4): 1-10. <https://www.neliti.com/id/publications/143752/pengaruh-luas-penutupan-kiambang-salvinia-molesta-terhadap-penurunan-cod-amonia#cite>

Rondonuwu, S.B. (2014). Fitoremediasi limbah Merkuri menggunakan tanaman dan sistem reaktor. *Jurnal Ilmiah sains*. 14(1): 52-59. <https://doi.org/10.35799/jis.14.1.2014.4951>

Said, N. I. (2014). Teknologi pengolahan air asam tambang batubara “Alternatif Pemilihan Teknologi”. *JAI*. 7(2): 119-138. <https://dx.doi.org/10.29122/jai.v7i2.2411>

Suprihatin, H. (2014). Penurunan konsentrasi BOD limbah domestik menggunakan sistem wetland dengan tanaman hias Bintang Air (*Cyperus alternifolius*). *Dinamika Lingkungan Indonesia*. 1(2): 80-87. <http://dx.doi.org/10.31258/dli.1.2.p.80-87>

Widyaningsih, (2012). Pengaruh variasi berat basah Eceng Gondok (*Eichornia crassipes*) terhadap kandungan Krom (Cr) limbah cair industri sablon “Temenan” Monjali Yogyakarta. [*Skripsi*]. Universitas Negeri Yogyakarta: Yogyakarta.

Widyati, E. (2009). Kajian fitoremediasi sebagai

salah satu upaya menurunkan akumulasi logam akibat air asam tambang pada lahan bekas tambang batubara. *Tekno Hutan Tanaman*. 2 (2) : 67-75.